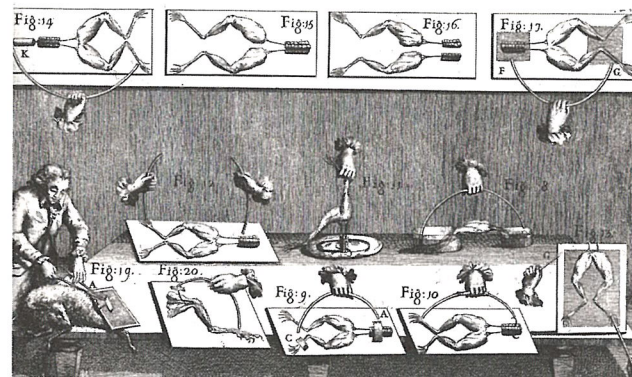


지'), 자연과학자들은 합의한 것에 대해서는 문제 제기를 하지 않는다는 것입니다. 그래서 자연과학은 그 발전 속도가 눈에 보일 정도로 빠르지만, 사회과학은 예전의 얘기를 계속 담보하고 있는 것처럼 보인다고 했습니다.



세 번째로 전지의 기전력에 대한 논쟁을 보려 합니다. 전지가 전류를 만들어내는 이유는 전지에 '기전력'의 원천이 있기 때문입니다. 그런데 대체 기전력의 원천은 전지의 어느 부분에 있을까요? 이 간단한 문제에 대해서 지금 우리는 확실한 사실을 얘기할 수 있을까요?

이 문제를 분석해보려면 조금 거슬러 올라가야 합니다. 18세기 말엽 이탈리아 과학자 알레산드로 볼타는 의사 갈바니와 전기의 본질에 대해서 논쟁하게 됩니다. 잘 알다시피 갈바니는 죽은 개구리 다리에 금속 막대기를 댔을 때 다리가 움찔하는 현상을 발견한 사람입니다. 그리고 이 현상이 개구리 다리와 같은 생명체의 기관에 전기가 들어 있는 증거라고 생각했습니다. 즉, 전기가 생명현상의 본질이라는 것이지요. 개구리 다리에 있던 전기가 금속을 대는 순간에 금속을 타고 흐르기 때문에 다리가 움직인다고 생각한 것입니다. 이런 생각은 죽은 생명체에 전기 자극을 주면 그것을 소생시킬 수 있다



개구리 다리를 이용한 갈바니의 실험들

는 생각으로 이어지기도 했습니다. (메리 셸리의 소설 『프랑켄슈타인』이 이런 생각으로부터 자극을 받은 소설입니다.)

물리학자 볼타는 이런 생각에 반대했습니다. 그는 갈바니의 실험에서 개구리 다리에 갖다 대는 금속 막대가 주로 두 가지의 다른 금속으로 만들어졌다는 데에 주목했습니다. 볼타는 생명체에 전기가 들어 있다는 식의 신비로운 생각을 믿지 않았고, 전기의 원천을 금속 막대라고 생각했습니다. 금속 막대 속에 들어 있던 전기가 개구리 다리를 통해서 흐르고, 그것이 다리의 근육을 자극시켜서 다리가 꿈틀하는 것이라고 생각했습니다. 볼타에게 전기의 원천은 두 개의 다른 금속을 붙여서 만든 금속 막대였고, 개구리 다리는 전기현상을 검출하는 검출기에 불과한 것이었습니다.

전기의 원천이 개구리 다리 같은 생명체이고 금속은 전기를 검출하는 도구라는 갈바니의 입장과, 반대로 금속이 전기의 원천이고 개구리 다리는 전기를 검출하는 도구라는 볼타의 입장 차이는 좁혀지지 않았습니다. 그러다가 갈바니 측에서 금속을 사용하지 않고, 개구리의 힘줄을 개구리 다리에 접촉시켜서 움찔하게 만듭니다. 금속이 사용되지 않았기 때문에 논쟁의 지형에서 볼타는 상당히 수세에 몰리게 됩니다. 볼타는 이에 대한 반격으로 개구리 다리를 아예 사용하지 않고 전기를 만들어내는 연구를 합니다.

이런 연구 끝에 볼타가 최초로 전지를 발명하게 되지요. 구리와 아연이라는 두 가지 다른 금속과 소금물에 절인 종이를 층층이 쌓아서\* 오랫동안 전류를 흐르게 하는 데 성공한 것입니다. 생명체 없이 순전히 화학 현상에서 전기가 만들어졌기 때문에, 이 발명으로 볼타와 갈바니의 논쟁의 전세는 볼타 쪽으로 기울어지게 됩니다.\*\* 전기 실험의 역사에서 혁명이라고 할 수 있는 전지의 발명은 정확히 1800년에 이루어졌습니다.<sup>8</sup>

그런데 왜 이런 전지에서 전류가 만들어진 것일까요? 볼타의 전지를 보면 ‘구리-소금물 종이-아연-구리-소금물 종이-아연-구리...’의 순서로 재료들이 놓여 있습니다. 이 순서

\* 볼타의 전지는 ‘층층이 쌓았다’라는 의미에서 ‘볼타 파일 voltaic pile’이라 불렸습니다.

\*\* 갈바니가 1798년에 사망한 것도 갈바니 학파의 세력이 약해진 중요 원인이었습니다.

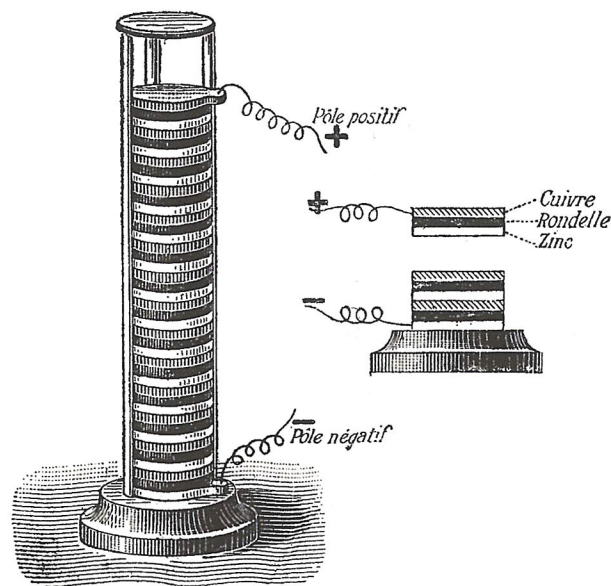


Fig. 283. — Pile de Volta.

볼타 전지. ‘구리-소금물 종이-아연-구리-소금물 종이-아연...’의 순서로 재료들을 쌓아 올렸습니다.

에 따르면 ‘아연-구리’의 금속성 접촉이 전기를 만든다고 볼 수도 있습니다. 볼타는 갈바니와 논쟁을 할 때부터 금속과 금속의 접촉이 전기를 만든다고 생각했습니다. 동전 모양의 구리와 아연의 한쪽 끝을 붙인 상태에서 붙이지 않은 쪽에 혀를 대면 전기가 찌릿하게 오는 것을 느꼈기 때문입니다. 볼타는 구리-아연 사이에 소금물에 젖은 종이를 끼워 넣어서 전기를 흐르게 했습니다. 다시 말해서 볼타는 ‘구리-소금물 종이-아

연-구리-소금물 종이-아연-구리...'의 순서에서 '아연-구리'가 전기를 만들고, 소금물 종이가 이렇게 만들어진 전기를 통하게 하는 역할을 했다고 생각한 것입니다. 금속의 접촉이 전류의 원천이라는 이런 이론은 전지의 기전력에 대한 '접촉이론'이라고 불렸습니다.

그런데 이 순서에서 '구리-소금물 종이-아연'의 조합이 전기를 만든다고도 볼 수 있었습니다. 왜냐하면 구리와 아연 도선의 한쪽을 붙여서 길게 이어놓으면 전류가 흐르지 않지만, 열려 있는 나머지 두 끝을 적절한 용액 속에 담그면 전류가 흐르기 때문입니다. 이런 관점을 가진 사람들은 소금물 같은 용액이 전류를 만드는 데 결정적인 역할을 한다고 생각했습니다. 그리고 이런 소금물의 작용은 화학작용이라는 것이 밝혀 집니다. 영국 과학자 마이클 패러데이는 금속의 접촉이 아니라, 아연과 구리가 소금물에 담겨져 있는 접촉면이 전류를 만드는 기전력의 원천이라고 주장했습니다. 패러데이의 주장은 상당히 설득력 있었고, 이후 오랫동안 정통으로 받아들여집니다. 이는 기전력에 대한 '화학이론'이라고 불렸습니다.

전지가 처음 만들어졌을 때에는 볼타의 '접촉이론'이 지배적이었습니다. 그러다 패러데이의 연구가 발표되면서 '화학이론'이 득세하게 됩니다. 그런데 1860년대 이후가 되면 볼타의 접촉이론이 다시 부활합니다. 젊을 때부터 이미 유럽 물리 학계에서 전기현상에 대한 최고 권위자로 꼽히던 윌리엄 톰슨

(나중에 켈빈 경이 됩니다)이 볼타의 접촉이론을 부활시킨 것입니다.

그는 1862년에 접촉해 있는 두 금속의 접촉면 사이에 전위차가 존재함을 보였습니다. 반달처럼 생긴 두 금속을 접촉시키고 다른 쪽에는 약간의 간극을 만든 뒤에, 대전된 바늘을 그 간극 위에서 돌아가게 합니다. 바늘이 간극 사이에 상당한 전위차가 존재함을 보여주는 것입니다. 보통 금속의 접촉이 만드는 전위차는 금속에 전압계의 단자를 접촉시킨 뒤에 다시 떼어내서 측정을 했는데, 톰슨은 접촉해 있는 두 금속에 다른 어떤 것도 접촉시키지 않은 상태로 두 금속의 접촉면에 전위차가 있음을 보여주었습니다.

그 후에 톰슨의 제자들은 여러 금속들의 접촉면에 전위차가 존재한다는 것을 정밀한 측정을 통해 보였습니다. 예를 들어, 아연-구리의 접촉면 사이에는 0.75볼트 정도의 전위차가 관측되었는데, 이 수치는 아연-구리로 전지를 만들었을 때 만 들어지는 전위차와 같았습니다. 볼타의 말처럼 전지의 기전력은 금속의 접촉에서 생기는 것처럼 보였습니다. 이렇게 해서 볼타 전지 기전력에 대한 '화학이론'이 쇠퇴하고 다시 '접촉이론'이 부상합니다.

그런데 1878년에 브라운이라는 무명의 과학자가 톰슨의 실험을 재현하면서 흥미로운 현상을 발견합니다. 그것은 매질에 따라서 금속의 접촉에서 생기는 기전력이 달라진다는 것이



있습니다. 예를 들어 철-구리의 접점을 가지고 실험을 할 때, 공기 중에서는 구리가 음성으로 대전되지만 황화수소 속에서는 거꾸로 철이 음성이 되고 구리가 양성이 되었습니다. 마치 화학 전지에서 두 금속이 담긴 액체 매질이 중요한 역할을 하듯이, 금속의 접촉으로 생기는 기전력에서 기체 매질이 중요한 기능을 한다는 것을 보인 것입니다. 만약에 톰슨과 그의 제자들이 얘기한 대로 기전력이 금속의 접촉에서만 생겨난다면, 매질이 달라진다고 음극이 양극이 될 정도의 변화가 생긴다고는 보기 힘들었습니다. 브라운의 실험은 분명히 ‘접촉이론’으로는 설명하기 힘든 현상이었지만, 톰슨과 그의 제자들은 이 실험을 무시하였습니다.

브라운의 실험에 주목한 사람은 당시 톰슨만큼이나 명성을 얻고 있던 물리학자 제임스 클러크 맥스웰이었습니다. 맥스웰은 금속과 공기의 접촉면에 기전력의 원천이 있다고 보았습니다. 그에 따르면 톰슨의 실험은 두 금속의 접면에서 기전력이 생기는 것을 보여준 게 아니라, 금속과 공기의 접면에서 기전력 두 개가 발생하고(하나는 공기-아연, 다른 하나는 공기-구리), 두 기전력의 차이가 전체 전지의 기전력이 된다는 사실을 보여주었다는 것입니다. 맥스웰은 금속들이 다 비슷비슷해서 금속과 금속을 붙여놓았을 때, 0.5~1볼트의 높은 기전력은 생길 수 없다고 강조했습니다. 맥스웰에 따르면 기전력은 공기 같은 매질과 금속 사이에서 발생합니다. 화학 전지의

경우에는 액체 매질과 금속 사이에서 발생하는 것이고요.

이렇게 해서 다시 새로운 ‘화학이론’이 부활합니다. 맥스웰이 1879년에 요절한 뒤에, 맥스웰의 제자들은 한목소리로 ‘접촉이론’이 틀렸다고 비판했습니다. 두 그룹은 이론, 실험, 수학적 분석, 기전력에 대한 정의, 펠티에효과\*에 대한 해석, 진공 속에서의 실험 등에 대해서 전혀 다른 해석을 제시합니다. 톰슨과 그의 제자들은 두 금속의 접촉이 0.75볼트의 기전력을 만들며, 따라서 접촉면 사이에 큰 기전력의 차이가 존재한다고 했습니다. 반면에 맥스웰의 제자들은 두 금속의 접촉면 사이에는 어떤 기전력의 차이도 존재하지 않는다고 주장했습니다.

문제는 두 그룹 중 어느 쪽이 옳은지 테스트할 수 있는 방법이 전혀 없었다는 것입니다. 1860년대 이후에 부활한 새로운 ‘접촉이론’과 새로운 ‘화학이론’은 30년이 넘게 논쟁을 이어갔습니다. 하지만 긴 논쟁도 어느 쪽이 더 타당한지를 밝히지는 못했습니다. 1800년에는 1볼트를 재는 것조차 힘들었지만, 1900년이 되면 100분의 1볼트도 정교하게 잴 만큼 기기와 측정 방법이 발전합니다. 그렇지만 두 금속을 붙였을 때 기전력이 대체 왜 생기는지에 대해서는 합의가 이루어지지 않았

\* 두 금속을 붙여놓고 전류를 흘리면 이 접면에서 아주 미세한 열이 발생하는 현상을 말합니다. 맥스웰은 열이 미세한 이유가 두 금속 사이에 기전력의 차이가 거의 없기 때문이라고 설명했습니다. 반면에 톰슨은 펠티에 열이 기전력을 온도로 미분한 값이기 때문에 미세할 수밖에 없다고 해석했지요.

습니다.<sup>9</sup>

20세기에 들면서 과학자들의 관심은 이 문제에서 멀어집니다. 그도 그럴 것이 두 입장은 수십 년 동안 서로를 비판했지만 합의에 이르지 못했고, 이를 지켜보던 다른 과학자들은 어느 쪽이 옳든지 간에 전기나 화학 연구를 하는 데에는 아무런 문제가 생기지 않는다는 것을 알게 됩니다. 과학자들은 점차 이 문제가 과학적 주제가 아니라 ‘바늘 끝 위에서 몇 명의 천사가 춤을 출 수 있는가’와 같은 형이상학적 문제라고 생각하기 시작했습니다. 그러면서 두 가지 다른 방향으로 정리가 이루어집니다.

20세기 초 물리학자들은 기전력이 두 금속의 접촉면 사이에 존재하는 전위차에 의해서 생긴다는 톰슨의 이론을 정설로 받아들이고, 이를 교과서에 기술하기 시작했습니다. 반면에 화학자들은 기전력이 금속과 매질의 전위차에서 생긴다는 화학이론을 교과서에 담았습니다. 그 뒤로도 가끔 이 주제에 대한 논문이 나왔지만, 이런 연구에 주목하는 과학자는 많지 않았습니다. 20세기 초에 상대성이론, 양자역학이 나오고 핵물리와 고체물리가 발전하면서 사람들의 관심이 이런 문제에서 떨어진 것입니다.

지난 100년 동안 과학은 어마어마하게 발전했지만, 두 금속을 붙여놓았을 때 0.75볼트와 같은 전위차가 대체 왜 생기는지에 대한 이해는 200년 전과 큰 차이가 없다고 할 수 있습

니다. 이런 사실에 대한 합의 없이도 전기화학은 놀랄 만큼 발전을 해서, 몇백 킬로미터를 주행하는 전기자동차 배터리를 만들어낼 정도로 크게 공헌을 하게 됩니다.



이제 기존의 패러다임에 잘 맞지 않아서 주목받지 못한 관찰이나 실험적 사실로 초점을 돌려보겠습니다.

18세기 후반에 스위스 실험물리학자인 마르크오귀스트 픽테는 열전도에 대해서 실험하다가 흥미로운 생각을 하게 됩니다. 더운 물체를 방 안에 놓았을 때 물체로부터 열이 발생합니다. 대류 현상은 공기의 순환을 통해 방을 천천히 덥히지만, 어떤 열은 순식간에 전달이 됩니다. 이런 열을 복사열이라고 합니다. 픽테는 차가운 물체에서 나오는 냉<sup>冷</sup>이 비슷하게 복사될 수 있는지를 실험했습니다. 4미터 떨어진 거리에 오목 거울 두 개를 놓고, 한쪽에는 온도계를, 다른 한쪽에는 눈이 가득 담겨 차가운 플라스크를 놓았습니다. 픽테가 눈이 든 플라스크를 거울의 중심에 놓자마자 온도계의 온도가 푹 떨어지는 것을 관찰할 수 있었습니다. 열이 복사되듯이 냉도 복사되며, 복사열처럼 복사냉도 순식간에 전파되는 것이었습니다.<sup>10</sup>

차가움은 순식간에 전파되는 것일까요? 1800년에 럼퍼드 경이라는 유명한 과학자가 픽테의 실험을 재현했습니다. 당시